

西秦岭上三叠统浊积岩系中波痕的主要特征及其成因探讨

张晓宝 方国庆 何海清

(中国科学院兰州地质研究所, 730000)

提 要 西秦岭上三叠统为一套半深海环境中形成的陆源碎屑浊积岩系, 于该浊积岩系中发现了大量的波痕。本文详细研究了这些波痕的形态特征及其与鲍马层序和浊积岩相组合的关系。研究结果表明这些波痕是浊流演化过程中转化而来的牵引流作用于底部床沙形成的。

关键词 浊流 牵引流 波痕

第一作者简介 张晓宝 男 36岁 助理研究员 沉积学

自从我国学者六十年代中期引入浊流沉积的概念与研究方法以来, 在我国广泛分布的造山带中相继发现了大量的浊积岩(李继亮, 1978; 孙枢、李继亮, 1984)。这些浊积岩宏观上分布广, 厚度大, 砂泥互层韵律清楚, 砂岩具鲍马层序, 各种底模发育, 结构成熟度和成分成熟度低, 泥岩中含深水化石; 在岩相上, 不与沼泽相、生物礁相、河流相和膏盐相等组合。然而, 迄今为止, 仍然有不少学者坚持认为这些浊积岩当属滨浅海沉积, 并提出了大量证据, 其中最关键的证据之一是这些浊积岩中发现了波痕等牵引构造。因此, 波痕的形成机理就成了浊积岩“深水论者”和“浅水论者”争论的焦点之一。作者在对西秦岭泥盆系、二叠系和三叠系浊积岩系进行考察时, 也发现了大量的波痕。经过对这些波痕的详细研究, 作者认为浊积岩系中波痕的形成与波浪作用无关, 是浊流演化过程中转化而来的牵引流作用于底部床沙的结果。本文以西秦岭上三叠统浊积岩系为例, 阐述了波痕的主要特征, 并探讨了其成因。

1 浊积岩系沉积特征概述

西秦岭上三叠统(殷鸿福等, 1992)浊积岩系广泛分布于甘肃省卓尼县境内的洮河两岸, 其中以大峪沟、卡车沟和车巴沟剖面发育最为齐全(图1)。这套地层厚约5000米, 是较为典型的砂质海底扇沉积。以车巴沟剖面为例, 该套沉积具以下几个主要特征:

1.1 浊积岩相

按照 Mutti 等(1972)关于浊积岩相的划分依据, 结合西秦岭中三叠统浊积岩系的具体特点, 可将其区分为 B、C、D、G 等四个浊积岩相(图2)。

B相: 中—粗粒砂岩, 块状构造。厚度一般为3—5米, 侧向变化较大, 底面起伏不平, 与下部岩层呈侵蚀接触。

C相: 中—细粒砂岩(图版1), 自下而上发育递变层理、平行层理、沙纹交错层理和包卷

层理(图版 2),具完整的鲍马层序。砂岩底面常见槽模和沟模,厚度为 20—50cm,侧向延伸较远。根据 C 相的侵蚀特征,可将其进一步划分为 C₁ 和 C₂ 相。C₁ 相层面平整,可见板状冲刷痕。C₂ 相层面不平整,可见上凹型和泥岩披盖型冲刷痕。

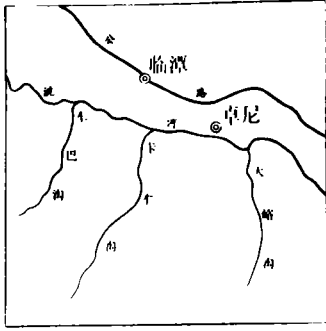


图 1 研究区剖面位置图

Fig. 1 Location map of the sections in studied area.

D 相:细—粉砂岩(图版 1),具不完整的鲍马层序,常出现 T_{bc}、T_c 等序列,发育平行层理和沙纹交错层理,常见槽模和沟模。厚度为 20—30cm。

G 相:灰黑色泥岩和泥质粉砂岩,发育水平层理,局部夹厚度为 10—20 厘米,含小型沙纹交错层理的细砂岩。厚度为数米至数十米。岩相横向稳定。

1.2 相组合

根据浊积岩相的组合关系可划分出盆地平原相组合,舌状体相组合,舌状体—水道过渡带相组合和水道相组合(图 2)。

盆地平原相组合由 G 相或 G 相与 D 相构成。厚度 50—100 米左右,横向上岩相稳定。代表深水盆地平原缓慢的悬浮沉积,局部可以夹浊流尾部形成的细粒沉积。

舌状体相组合由 D 相和 C₁ 相组成(图版 1)。D 相位于 C₁ 相的下部,两者构成向上变粗变厚的沉积旋回。厚度为 10—50 米,砂体呈席状,岩层侧向延伸远,层面平整,厚度稳定。代表外扇环境。

舌状体—水道过渡带相组合由 C₁ 和 C₂ 相构成。厚度为 10—50 米。垂向上位于舌状体相组合与水道相组合之间,兼具有这两个相组合的特征。代表中扇环境。

水道相组合由 B 相组成。厚 25—30 米,厚度侧向变化大,可相变为其它相组合,总体呈向上变细变薄的沉积旋回。代表上扇环境。

1.3 相组合序列

基于相组合的叠置关系可归纳出两个相组合序列:(1)盆地平原→舌状体相组合序列,(2)盆地平原→舌状体→舌状体—水道过渡带→水道相组合序列(图 2)。两个相组合序列均显示向上变粗变厚的沉积旋回,代表海底扇向盆地平原的进积过程。值得一提的是上述后一个相组合序列所标志的海底扇向盆地平原进积的程度较前一个相组合序列更强。

1.4 沉积层序

整个剖面沉积层序由上、下两段构成,下段由盆地平原→舌状体→舌状体—水道过渡带→水道相组合组成;上段由盆地平原→舌状体相组合序列组成。整个剖面标志着海底扇向盆地平原的多次进积,并且进积的程度逐渐加强(图 2)。

1.5 遗迹相

在海底扇沉积层序的 G 相中发现了 Nereites 深水遗迹相(Seilacher, 1967)多个属的遗迹化石。这些遗迹化石主要包括:Chondrites, Dictyodora, Glockerria, Helminthoida, Lophoctenium, Megagraption, Neonereites, Paleophycus 等。据晋惠娟、李育慈等^①(1993)的研究结果,这些遗迹化石所指示的生态环境属半深海。

① 晋惠娟、李育慈,1994,西秦岭二叠—三叠系遗迹化石及其环境意义,地质科学(待刊)。

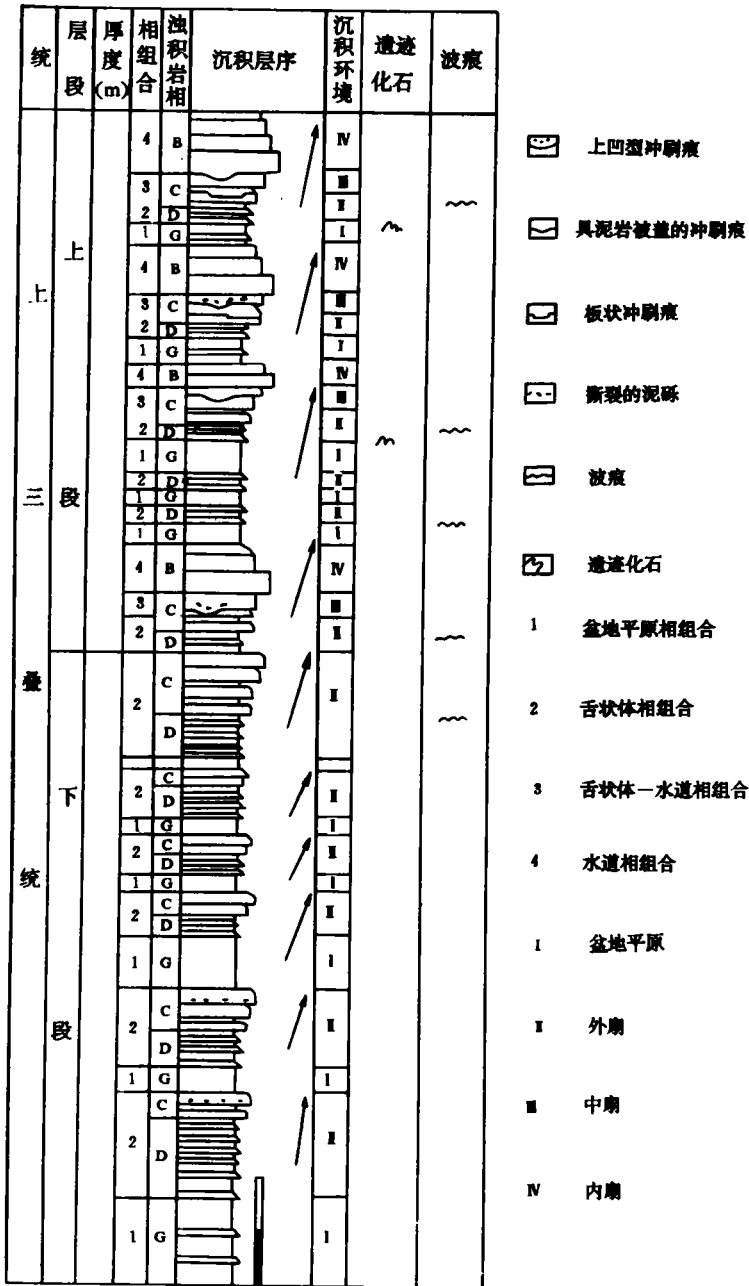


图2 西秦岭上三叠统浊积岩沉积特征及其与波痕的关系

Fig. 2 Sedimentary features and their relationship with wave ripples of Middle Triassic sea-floor fans of west Qinling Mts.

2 浊积岩系中波痕的主要特征及其成因

2.1 大多数波痕主要发现于鲍马层序 Tc 段的表面

关于 Tc 段的成因,目前普遍认为与浊流演化过程中转化而来的牵引流有关(Middleton 和 Hampton, 1973)。在浊流的搬运作用过程中,由于重力的作用,粒度较粗、密度较大的碎屑颗粒优先集中于浊流的头部和底部,并随着浊流流速减慢先期沉积下来,而粒度较细、密度较小的颗粒主要集中在浊流表层和尾部。由于浊流表层和尾部与水体之间的稀释作用,使其密度进一步降低,流速也相对减慢,从而形成了具有牵引流性质的披载运层(Middleton 和 Hampton, 1973)。披载运层主要依靠其本身的惯性力和浊流的拖曳力流动。当浊流沉积形成 T_a 和 T_b 段以后,披载运层中携带的细粒物质就开始发生沉积作用,并对其底部床沙进行改造,从而形成 T_c 表面的波痕(图版 3,4)。

2.2 波痕主要出现在海底扇沉积层序舌状体相组合中

如前所述,西秦岭上三叠统海底扇沉积层序主要由盆地平原、舌状体、舌状体—水道过渡带和水道等相组合构成(图 2),而波痕主要产于舌状体相组合的 C 相和 D 相(图 2, 图版 3,4),这主要与浊流在海底扇不同亚环境中的性质与流态有关。当浊流在内扇区的水道中流动时,由于密度较高、流速较快,并以强烈的侵蚀和快速的沉积为特征,主要形成 B 相。当浊流流入中扇区的舌状体—水道过渡带时,由于水道变宽,浊流流速骤然减慢,从而发生了水力学跳跃(Mutti, 1987),形成部分 C 相,并于 T_c 段的表面形成波痕,但由于此时冲刷作用仍然比较强烈,波痕难以保存。当浊流流入外扇区的舌状体沉积区时,由于浊流表层和尾部进一步向牵引流转化,在舌状体的表面,即相当于 C 相和 D 相 T_c 段的表面形成波痕。由于此时浊流的冲刷作用已减弱,并且 T_c 的表面为 T_c 段泥岩覆盖,所以波痕能够得以完整的保存。

2.3 波痕均为不对称水流波痕

据野外实测结果,西秦岭上三叠统浊积岩系中的波痕几乎都属于不对称水流波痕(表 1, 图版 3,4,5,6,7,8)。波痕对称指数(RSI)平均为 1.6,波痕指数(RI)平均为 12.5。这一特征说明形成波痕的牵引流具有单向流动的特点。

2.4 波痕大多为小型波痕

西秦岭上三叠统浊积岩系中波痕的波高(h)平均为 1.8cm,波长(l)平均为 15.8cm(表 1),其大小只相当于 Simons 和 Richardson (1965)水槽实验中所观察到的沙纹。此外,波痕主要由粉砂和细砂组成。上述特征说明形成波痕的牵引流的流速以及底部床沙的粒度均有一定的范围。

2.5 波痕的波高、波长与浊积岩的厚度呈正比关系

从表 1 可知,波痕的波高,波长与浊积岩的厚度呈正比关系,这说明形成波痕的牵引流的强度是受浊流的规模与强度控制的。

2.6 波痕的波峰和波谷形态比较圆滑,波脊形态多样,并且存在一定的变化规律

据野外观察,波痕的波峰和波谷形态都比较圆滑(图版 5,6,7,8),缺乏各种复合、叠置和修饰特征。这可能是因为形成于 T_c 段表面的波痕很快为 T_c 段泥岩所覆盖,从而避免了其它流体的改造和破坏。

波痕波脊的形态是多样的,既有直线状、弯曲状;也有链状、舌状和新月状(图 5, 6, 7, 8),但是,这种变化呈现一定的规律性,即由近源向远源方向,波脊形态逐步从舌状变为新月状、链状,再变为弯曲状,最后变为直线状,它反映了牵引流的强度逐渐减弱。

表 1 浊积岩中波痕的形态特征

Table 1 The shape characteristics of ripple marks in turbidites

特征 剖面 位置	波脊形态	浊积岩的 厚度(H) (cm)	波高(h) (cm)	波长(l) (cm)	半波长 (l ₂) (cm)	短半波长 (l ₁) (cm)	对称指数 (RSI)	波痕指数 (RI)	波痕 指示流向	底痕 指示流向
卡车沟	弯曲状	20	1.5	19	10.5	8.5	1.2	12.7	210°	250°
卡车沟	弯曲状	10	0.5	8.5	4.5	4	1.1	17	220°	270°
卡车沟	—	0.5	0.4	10	6	4	1.5	25	—	—
卡车沟	—	8	1	25	13	12	1.1	25	—	—
卡车沟	—	50	8	59	36	23	1.7	7.3	160°	—
卡车沟	—	22	1	12	9.5	2.5	3.8	12	—	—
车巴沟	直线状	2	0.6	5	3.5	1.5	2.3	8.3	—	—
车巴沟	直线状	—	4	17.5	10	7.5	1.3	4.4	—	—
车巴沟	弯曲状	—	3	18.5	10	8.5	1.2	6.1	—	—
车巴沟	弯曲状	—	0.5	10	7	3	2.3	20	—	—
车巴沟	直线状	—	1	14.5	8	6.5	1.2	14.5	—	—
车巴沟	弯曲状	4	3	10	6	4	1.5	3.3	190°	—
车巴沟	弯曲状	3	2	9.5	5	4.5	1.1	4.7	180°	150°
车巴沟	弯曲状	30	1	6.5	4	2.5	1.6	6.5	180°	—
车巴沟	弯曲状	50	0.9	7	4	3	1.3	7.8	130°	120°
车巴沟	新月状	100	4	26.5	15.5	11	1.4	6.6	110°	—
车巴沟	弯曲状	9	0.4	8.5	5.5	3	1.8	21.3	70°	120°
车巴沟	直线状	2.5	0.3	7	4.5	2.5	1.8	23.3	105°	—
平均值		22.2	1.8	15.2	9.0	6.0	1.6	12.5	156°	182°

2.7 鲍马层序中 T₁ 段表面波痕的形态和规模与 T₁ 段内部沙纹层理的类型与规模关系十分密切

总体上,如波痕为直线状或弯曲状,层理则为单向斜层理(图版 3, 4),如波痕为链状、舌状或新月状,层理则为双向交错层理。此外,由于波痕均为小型的,所以层理一般也是小型的。这足以说明鲍马层序 T₁ 段表面的波痕与 T₁ 段内部的沙纹层理是同一浊流转化而来的牵引流作用过程的两种表现形式。

2.8 波痕与底痕所指示的流向大体一致

从表 1 可知,波痕所指示的牵引流的流向与底痕所指示的浊流的流向大体一致,从而更进一步说明了浊流对牵引流的控制作用。此外,从表 1 也可以看出波痕所指示的流向与底

痕所指示的流向也存在一定的差异,这可能是由于地貌等因素的影响造成的。

结 语

西秦岭上三叠统浊积岩系中的波痕是由浊流转化而来的牵引流作用于其底部床沙的结果。波痕的主要特征及其形成机制均可以利用此认识得到解释。

长期以来,波痕一直被认为是一种不容置疑的浅水标志,但本文的研究结果表明在深水环境中由浊流转化而来的牵引流同样可以形成大量的波痕。因此,以往对波痕的认识需要补充和修正。

致谢:本文编写过程中得到了晋惠娟、李育慈研究员的热情帮助,借此机会表示感谢。

收修改稿日期:1994-02-16

参 考 文 献

- [1] 李继亮等,1978,我国几个地区浊积岩系的特征,地质科学,(1):26~44。
- [2] 孙枢、李继亮,1984,我国浊流与其它重力流沉积研究进展—概况和发展方向问题刍议,沉积学报,2(1):1~7。
- [3] 甘肃省地矿局,1989,甘肃省区域地质志,地质出版社,239~243。
- [4] 殷鸿福等,1992,秦岭及邻区三叠系,中国地质大学出版社。
- [5] Mutti E. and Ricci Lucchi F. R., 1972, Turbidites of the northern Apennines; Introduction to facies analysis (English translation, 1978). Int. Geol. Rev., V. 20; p. 125~166.
- [6] Mutti E. and Normark W. R., 1987, Comparing examples of modern and ancient turbidite systems: problems and concepts. in; J. K. Leggett and G. G. Zuffa (eds), Marine clastic Sedimentology; concepts and case studies. Graham and Trotman, London, p. 1~37.
- [7] Seilacher A., 1967, Bathymetry of trace fossils. Mar. Geol., No. 5 p. 413~428.
- [8] Middleton, G. V. and Hampton, M. A. 1973, sediment gravity flows; Mechanics of flow and deposition, Part I. In middleton, G. V. and Bouma, A. H. Cha. Turbidites and deep—water sedimentation; los Angeles, Calif. SEPM pacific section, short course lecture notes. p. 1~38
- [9] Simons, D. B., Richardson, E. V. and Nordin, C. F. Jr., 1965, sedimentary structures generated by flow in alluvial, In Middleton, G. V. ed. Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation, Symposium; Tulsa, Okla., SEPM Spec. Pub. No. 12, p. 34~35.

A Discussion on Main Characteristics and Origin of the Ripple Marks of Upper Triassic Turbidites in west Qinling Mts.

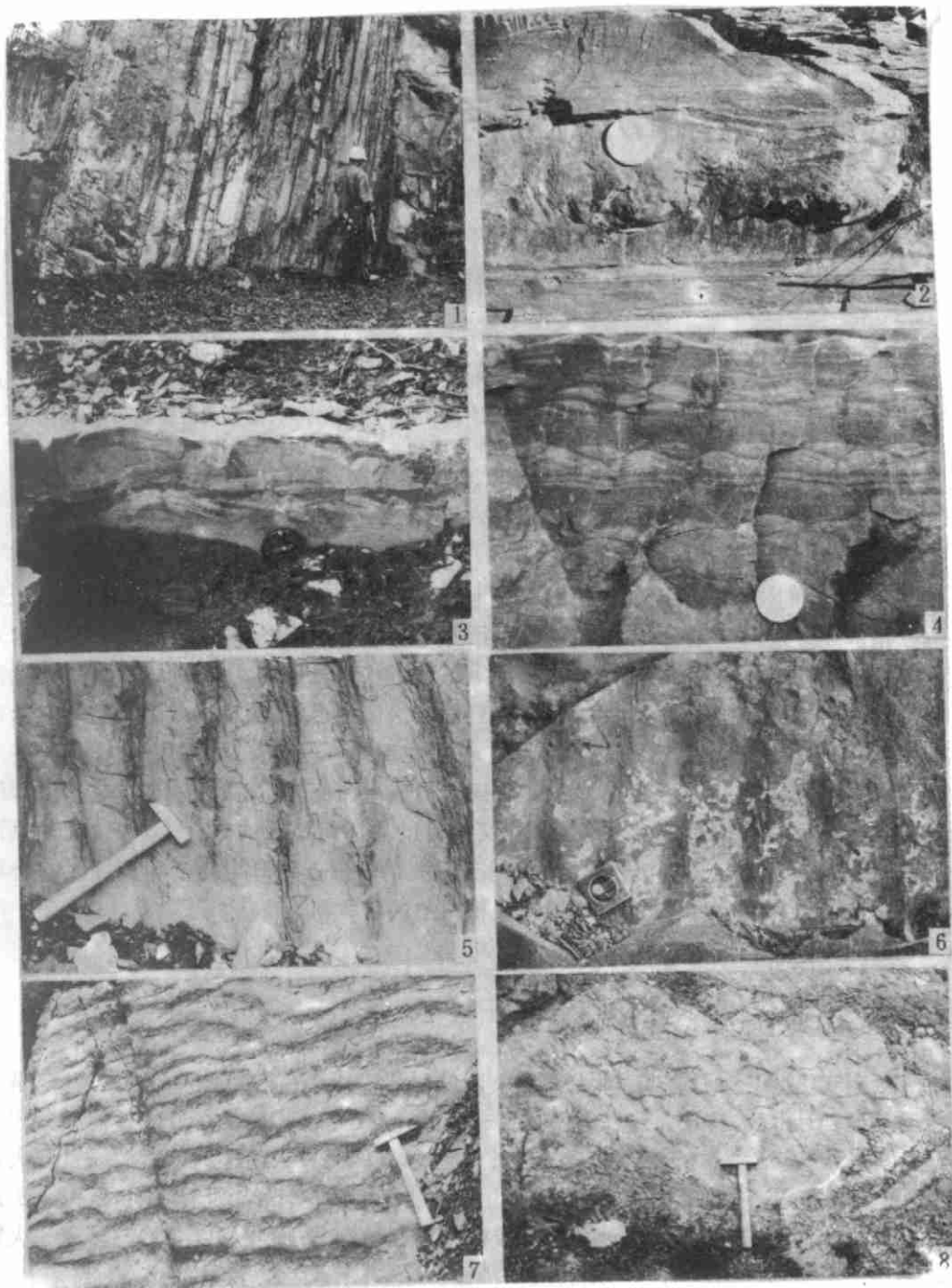
Zhang Xiaobao Fang Guoqing He Haiqing

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, 730000)

Abstract

For a long time, ripple marks were often regarded as one of sedimentary indicators of shallow water, but large quantities of them were also found in bathyal terrigenous clastic turbidites of Upper Triassic of west Qinling Mts. The ripple marks characterize that (1) they occur on the surface of T_c of Bouma sequence, which means that they were formed by tractive currents derived from turbidity flows, (2) they exist in the lobe facies associations of seafloor fan sequences, which indicates that the most favourable hydrodynamic conditions to form them appeared in outer fans, (3) they are all symmetrical, which shows that tractive currents to form them were unidirectional, (4) they are small-scale, which proves that the velocity of tractive currents and the grain size of bottom bed sands varied in a certain extent, (5) their wavelengths and heights are directly proportional to the thickness of turbidites, which means that the strength of tractive currents was controlled by the scale and strength of turbidity flows, (6) the shapes of wave crests and troughs are smooth and the shapes of ripple ridges are regularly changeable, (7) their shapes and scales are closely related with those of ripple laminations in T_c intervals of Bouma sequences, which reflects that they were two forms of expression produced by the same tractive currents, (8) The flow directions determined by ripple marks are consistent with those determined by bottom marks, which reflects that the flow directions of tractive currents were controlled by those of turbidity flows. The characteristics above reflect that ripple marks occurred not only in shallow-water environments but also in deep water environments.

Key words turbidity flow tractive current ripple mark



1、浊积岩 C 相、D 相及舌状体相组合的宏观特征。 2、浊积岩的 T_∞ 段, T_c 段具包卷层理。 3、浊积岩的 T_c 段, 内部具交错层理, 表面见波痕。 4、浊积岩的 T_∞ 段, C 段内部具爬升波纹层理, 表面见波痕。
 5、直线状波痕, 波谷处可见 T_c 段的泥岩。 6、直线状波痕。 7、弯曲状波痕, 波谷处可见 T_c 段的泥岩。
 8、弯曲状波痕, 表面为 T_c 段泥岩覆盖。